

# Coupes dans des matériaux gelés au Grüobtälli, Vallée de Tourtemagne, VS: un pergélisol en voie de disparition? <sup>1</sup>

par Alain Broccard <sup>2</sup>

## ZUSAMMENFASSUNG

**Schnitt im gefrorenen Material im  
Grüobtälli (Turtmantal, VS):  
ein Permafrost auf dem Wege des Verfalls?**

Im Zentrum des Turtmantals, in einem seitlichen Tal auf der rechten Uferseite der Turtmänna, hat die Erstellung eines Lawinenauffangdamms oberhalb des Weilers Gurben-Meiden gezeigt, dass unter der Erdoberfläche gefrorene Sedimente existieren. Dadurch konnten die verschiedenen Teile des Permafrosts genauestens studiert werden. Verglichen mit anderen Beobachtungen weist die Auftauschicht des Permafrosts eine relativ grosse Dicke auf, welche wahrscheinlich auf ein Ungleichgewicht mit den aktuellen atmosphärischen Bedingungen zurückzuführen ist.

## RÉSUMÉ

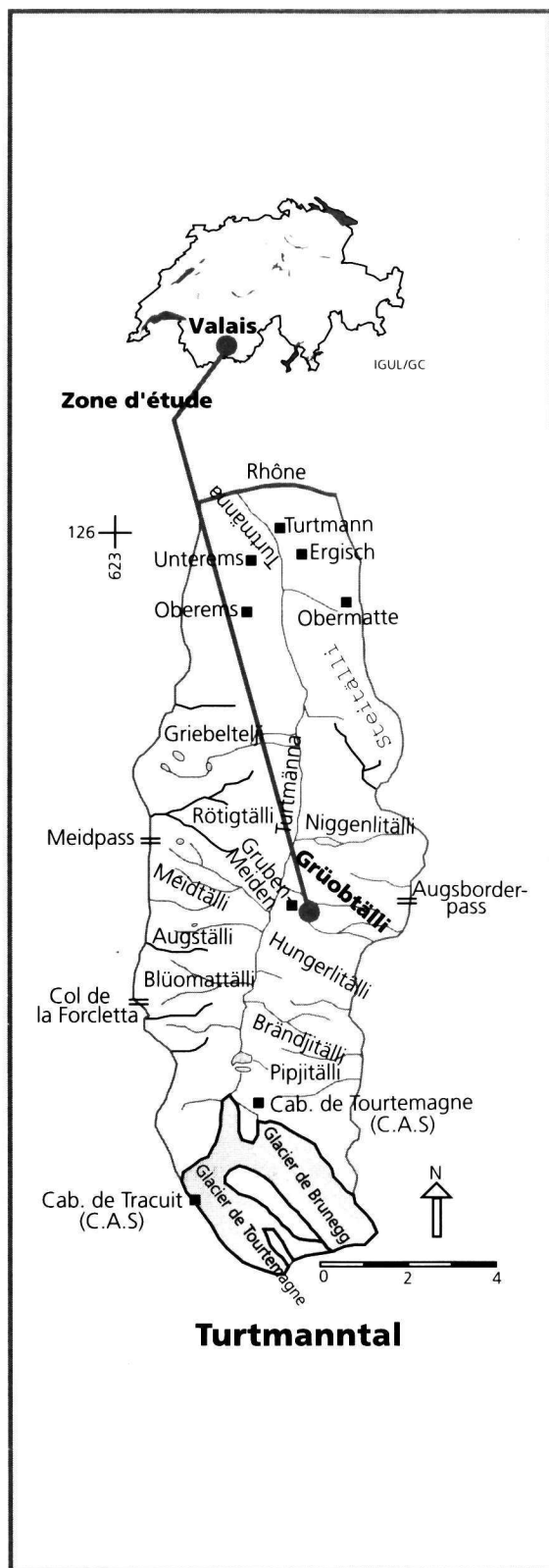
**Coupes dans des matériaux gelés au  
Grüobtälli (Vallée de Tourtemagne, VS):  
un pergélisol en voie de disparition?**

Au centre de la Vallée de Tourtemagne, dans un petit vallon latéral de la rive droite de la Turtmänna, l'édification d'une digue paravalanche en amont du hameau de Gruben-Meiden a rendu visible l'existence de sédiments gelés dissimulés sous la surface du sol. La structure interne du pergélisol a pu être étudiée précisément. En comparant avec d'autres observations, le niveau actif de ce pergélisol présente une épaisseur relativement importante qui trahit probablement un déséquilibre avec les conditions atmosphériques actuelles.



<sup>1</sup> Travail de mémoire en géographie, Université de Lausanne.

<sup>2</sup> Rue d'Itagne 19, 3960 Sierre



**Figure 1 – Plan de situation de la zone d'étude.**  
DESSIN ALAIN BROCCARD

## INTRODUCTION

Les travaux concernant l'étude du pergélisol se sont généralisés et amplifiés ces vingt dernières années dans les Alpes. De multiples techniques (mesures de température, méthodes géophysiques et forages) ont été mises au point afin de préciser l'étendue spatiale et la structure du pergélisol discontinu alpin.

Défini comme du matériel de subsurface dont la température reste inférieure à 0°C durant au moins une année (HAEBERLI, 1985), Le pergélisol demeure très souvent invisible à l'œil du chercheur. Mais dans le Grüobtälli, petit vallon latéral de la Vallée de Tourtemagne, les travaux d'édification d'une digue paravalanche ont permis d'étudier la structure interne d'un pergélisol sursaturé en glace, probablement en voie de disparition.

## Pergélisol

Le pergélisol se compose de deux parties: une couche active ou mollisol, qui dégèle durant la période de réchauffement estival, et une couche d'une épaisseur variable (le pergélisol au sens strict), qui reste constamment à une température inférieure à 0°C. On appelle le plan qui délimite ces deux couches, le toit du pergélisol, où règne une température annuelle moyenne comprise entre -0.5 et -0.6°C (BARSCH *et al.*, 1979).

Si de l'eau s'infiltre dans un tel sol, de la glace de pergélisol peut se former. En fonction de la proportion de glace par rapport au volume total d'un corps de sédiments, on distingue un pergélisol *sursaturé en glace* (lorsque le corps contient plus de glace que le volume des interstices) ou *saturé* (lorsque les deux volumes sont approximativement les mêmes).

Les chercheurs qui ont eu la chance d'apercevoir des matériaux consolidés par de la glace, témoignent du volume important que cette dernière peut occuper dans les premiers mètres sous le toit du pergélisol. Par exemple, HAEBERLI (1985) montre que le toit du pergélisol est imperméable et sursaturé en glace. Il n'est pas impossible, selon lui, de rencontrer des cas où la glace occupe plus de 90 % du volume. Quant à BARSCH (1977), il constate que la glace occupe 50-60 % du volume total du matériel extrait du forage de Murtèl I (GR).

L'existence et la répartition du pergélisol alpin discontinu sont directement liées selon HAEBERLI (1990):

- à la moyenne annuelle de la température de l'air (MAAT).
- au rayonnement solaire direct (effet d'ombre, exposition).
- à l'épaisseur du manteau neigeux (effet isolant de la neige).
- aux caractéristiques du sol (albédo, écoulement d'eau).

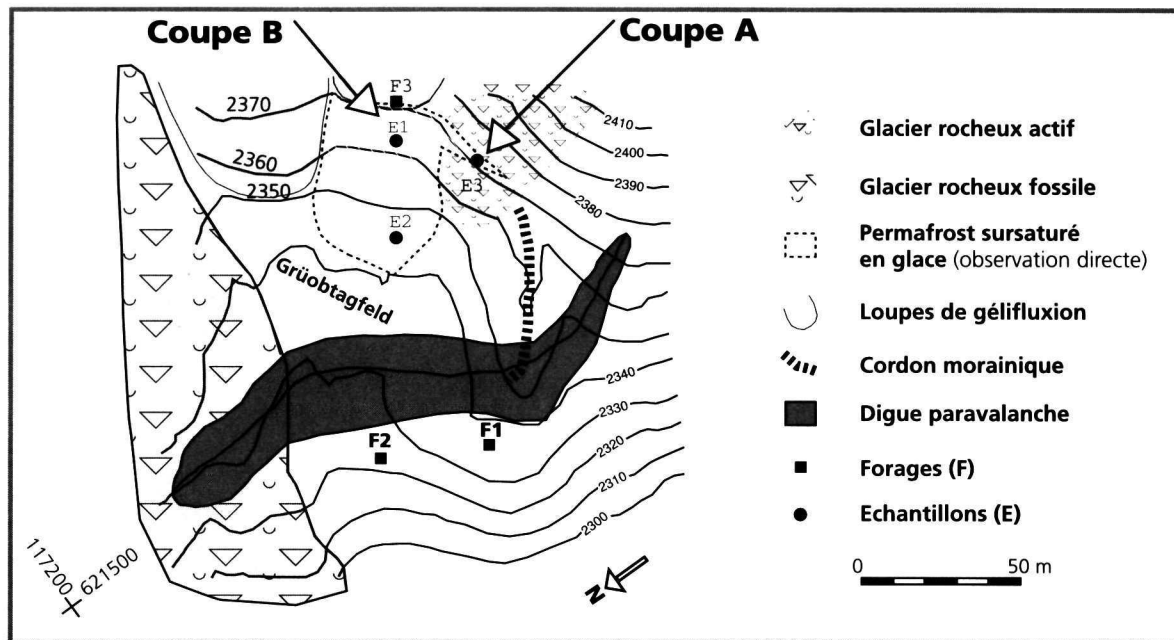


Figure 2 – Distribution des sédiments englacés au Gräubtagfeld (observation). – DESSIN ALAIN BROCCARD

En règle général, le pergélisol alpin se déploie entre l'isotherme  $-2^{\circ}\text{C}$  (MAAT), qui se localise au-dessus de 2500 m environ (3000 m pour les expositions sud) et la ligne d'équilibre des glaciers (HAEBERLI 1985).

### Zone d'étude

Caractérisé par un climat continental (VAN TATENHOVE & DIKAU, 1990), l'isotherme du  $0^{\circ}\text{C}$  (MAAT) dans le Val de Tourtemagne se situe à environ 2300 m d'altitude. Comme il n'existe aucune station météorologique dans cette vallée, l'isotherme moyen annuel a été calculé à partir des températures moyennes annuelles des stations les plus proches (Zermatt, Grächen, Tourtemagne et Sierre) en tenant compte d'un gradient vertical de  $0.56^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  (REYNARD 1998). Les précipitations annuelles à 2000 m d'altitude sont comprises entre 800 et 900 mm (VAN TATENHOVE & DIKAU 1990).

La zone d'étude se situe dans le Gräubtälli à une altitude moyenne de 2350 m, plus précisément au lieu-dit Gräubtagfeld (621500/117250). Située à l'aval de grandes loupes de gélifluxion, le Gräubtagfeld se localise entre un glacier rocheux fossile s'étalant jusqu'à la lisière de l'Heiperwald (621500/117900/2180m) et d'un glacier rocheux actif accroché au versant nord du Ritzichumme (622000/116800).

### Travaux antérieurs

En 1990, une étude effectuée par VAN TATENHOVE & DIKAU (1990), essentiellement basée sur l'étude de photos aériennes (localisation des glaciers rocheux actifs), place

le Gräubtagfeld en dehors de la zone potentiellement occupée par un pergélisol.

Une campagne de mesures de température à la base de la couche neigeuse (mesures BTS) effectuées en hiver 1993 par l'ETHZ, a mis en évidence une vaste distribution du pergélisol au niveau du Gräubtagfeld (Vaw 1995).

Les résultats contradictoires, apportés par ces deux travaux, s'expliquent par l'utilisation de méthodes sensiblement distinctes de prospection du pergélisol.

### Buts de l'étude

Dès le mois de juillet 1997, la construction d'une digue paravalanche a été entreprise au Gräubtagfeld (621500/117250), afin de sécuriser le versant en amont des mayens de Gruben-Meiden.

L'existence possible d'un pergélisol posait deux problèmes de taille dans la réalisation de la digue paravalanche:

- était-il possible d'exploiter facilement le matériel qui servirait à la construction de la digue?
- était-il possible d'ériger une digue sur un sol potentiellement instable (pergélisol)?

En collaboration avec l'Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches (ENA), des travaux ont été entrepris (mesures de températures dans trois forages mis en place par l'ENA, analyses granulométriques du matériel et de multiples observations lors des travaux de terrassement). Ces derniers ont permis d'établir

précisément la distribution du pergélisol dans cette zone d'une superficie d'environ 10 000 m<sup>2</sup> (BROCCARD 1998).

#### Les buts de cette note sont :

- de présenter les résultats des observations directes effectuées lors des travaux qui ont rendu visible la structure interne du pergélisol.
- de tenter de déterminer la profondeur du toit et de la base du pergélisol.
- d'évaluer le volume de glace des différentes parties du pergélisol.
- de formuler des hypothèses quant à l'évolution thermique du pergélisol.

### OBSERVATIONS DE TERRAIN

#### Coupe A dans le glacier rocheux actif

#### Méthodes utilisées

Pour quantifier le volume de glace contenu dans le matériel, une méthode simple a été mise en place. Elle consiste à extraire les sédiments englacés et à les stocker dans un récipient hermétique (caissette à vendange recouverte d'un film plastique) afin d'empêcher toute perte par évaporation de l'eau qui résulte de la fusion de la glace. Pour quantifier le pourcentage de glace contenu dans le matériel, il suffit de comparer le volume du matériel sec et le volume d'eau (en sachant que 1 lt d'eau occupe 1 dm<sup>3</sup>). Dans un second temps, il faut majorer d'environ 10% la valeur obtenue afin de tenir compte de la différence de volume entre la glace et l'eau.

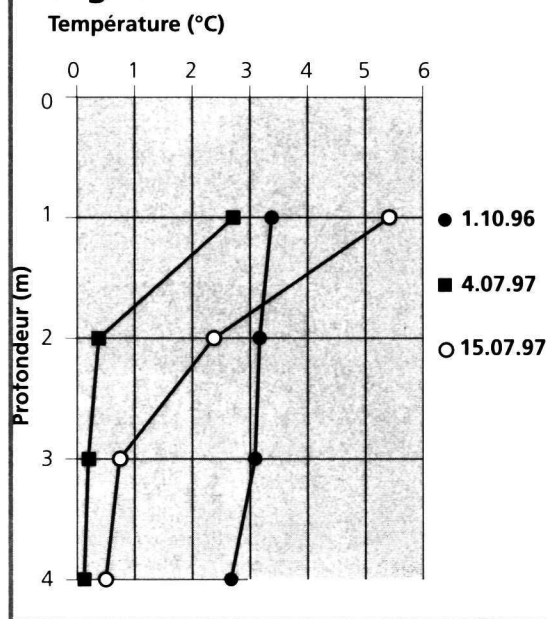
Des analyses granulométriques de matériaux secs, effectués selon la méthode de CAILLEUX & TRICART (1967) ont également été entreprises afin de connaître la distribution par taille des éléments dans lesquels de la glace de pergélisol a été observée.

Les mesures de température dans les forages ont été effectuées tous les mètres au moyen d'un thermomètre digital (KALIBRATOR AOIP Modell PJ 6522) relié à un câble qui se termine par une sonde.

Dans la zone d'excavation du matériel, en amont de la digue paravalanche, un glacier rocheux accroché au versant ubac du Grübötalli se déploie entre 2350 m et 2430 m d'altitude. D'orientation nord partiellement engazonné, de forme allongée, très bombé dans sa partie avale, ce glacier rocheux présentait selon VAN TATENHOVE & DIKAU (1990) toutes les caractéristiques d'une forme fossile. Mais les profondes entailles effectuées par le Caterpillar au début du mois de juillet 1997, dans le front de cette forme ont révélé la présence de sédiments gelés.

- Dès 3.75 m (hauteur verticale) de fins cristaux de glace translucide se mélangeaient au matériel détri-

#### Forage F3



**Figure 3 – Profils des températures dans le forage F3.** – Dessin ALAIN BROCCARD.

tique dont les blocs et graviers étaient pris dans une matrice sablo-limoneuse. Ce matériel se composait essentiellement de gneiss, de prasinites et de schistes composant la nappe de Siviez-Mischabel. De formes très acérées, ces matériaux ne trahissent pas un transport très long.

- Au fur et à mesure de l'approfondissement de la coupe, la proportion de la glace augmentait. A 6 m de profondeur, un prélèvement de matériel a révélé qu'elle constituait 6% du volume total (E3). Le matériel dans lequel se répartissaient les éléments englacés était composé de :

- 33 % de blocs.
- 40 % de graviers.
- 20 % de sables.
- 7 % de fractions fines.

- A environ 10 m sous la surface du sol, des petites lentilles de glace blanchâtre de 5 à 10 cm d'épaisseur ont été observées. Aucune autre observation n'a pu être menée plus bas, car les travaux dans cette partie de la zone d'excavation se sont limités à ce niveau.

Les résultats des observations de cette coupe nous montrent que dans les premiers mètres, les sédiments englacés ne sont pas très importants. Une épaisse couche de matériel en voie de fusion détermine un niveau qui se dégèle – le mollisol – sous les effets du réchauffement estival. Mais dès 10 m de profondeur, la quantité de glace augmente en individualisant une zone, où la température reste constamment en dessous de 0°C.

## Coupe B dans le versant en amont de la digue

### Le niveau actif

Entre 2375 m et 2340 m d'altitude au pied du versant du Ritichumme (cf. fig 2), dans la zone en amont (150 m) de la digue paravalanche en construction un forage (F3) a été mené jusqu'à 4 m de profondeur durant l'automne 1996 afin de préciser la distribution du pergélisol (ENA 1996). Le 4 juillet et le 15 juillet 1997 des mesures de température dans ce forage ont montré dès 3 m de profondeur des températures relativement froides (cf. fig 3).

Une vaste excavation a permis de mettre à jour la structure complète du pergélisol (fig. 4, coupe BB'). Grâce à cette coupe, qui se déploie dans le prolongement vertical du forage F3, les différents niveaux caractéristiques du pergélisol ont pu être observés et étudiés.

Au début de l'été 1997, les courbes de températures du forage F3 montrent clairement le réchauffement progressif par le haut du niveau actif sous les effets de l'augmentation des températures estivales. Mais, malgré un fort réchauffement des premiers mètres, la température au fond du forage reste très proche du 0°C.

Les mesures effectuées en automne 1996 indiquent un refroidissement des premiers mètres (jusqu'à -3 m) probablement provoqué par l'apparition d'un mince manteau neigeux. La température à -4 m demeure relativement chaude (2.6°C), ce qui montre qu'à cette profondeur on se situe encore dans le niveau actif.

Dès le 22 juillet 1997, les travaux d'excavation (situés directement dans le prolongement du forage F3) dans ce versant W, mettaient en évidence la présence de sédiments détritiques englacés (E1) dès 5.25 m de profondeur, soit à 1.25 m sous l'extrémité du forage, dans du matériel qui se composait de:

- de 26 % de blocs.
- de 31 % de graviers.
- de 33 % de sables.
- de 10 % de fractions fines.

Ce matériel englacé se présentait sous deux formes distinctes:

- la glace se confondait au matériel argileux fin où seuls quelques petits cristaux à peine visibles trahissaient sa présence. Elle permettait ainsi aux sédiments non consolidés de former une masse homogène et solide, qui a grandement ralenti les travaux.
- de fines bandes de glace translucide (de quelques cm) enveloppaient les blocs les plus gros ce qui leur donnait l'apparence de brèches dont la glace constituait la matrice.

En 1910 déjà, CAPPS constatait que la glace remplissait les cavités entre les fragments des blocs anguleux en formant des brèches.

Des observations similaires ont été faites lors des travaux qui ont entaillé le flanc gauche du glacier rocheux de la combe de Prafleuri. FISCH *et al.* (1978) (in BARSCH 1996) rapportent leurs observations en ces termes: "angular debris cemented by interstitial ice beneath a thin layer of coarse debris".



**Photo 1 - Lentilles de glace.**

PHOTO ALAIN BROCCARD



**Photo 2 - Bulles d'air - graviers incrustés dans la glace.** - PHOTO ALAIN BROCCARD

Comme BARSCH (1977) qui notait la présence de glace interstitielle dans les premiers mètres du forage du glacier rocheux de Murtèl I, la glace sous le forage F3, dans le Grüobtälli, peut également être qualifiée d'interstitielle.

Afin de déterminer le volume total de glace, un échantillon (E2) de sédiments englacés a été prélevé. Les résultats ont montré que la glace constituait 20% du volume total du matériel, pourcentage relativement faible qui indique que cet échantillon a été certainement prélevé dans la zone active du pergélisol, ce qui place le toit de ce dernier en dessous de 5.25 m de profondeur.

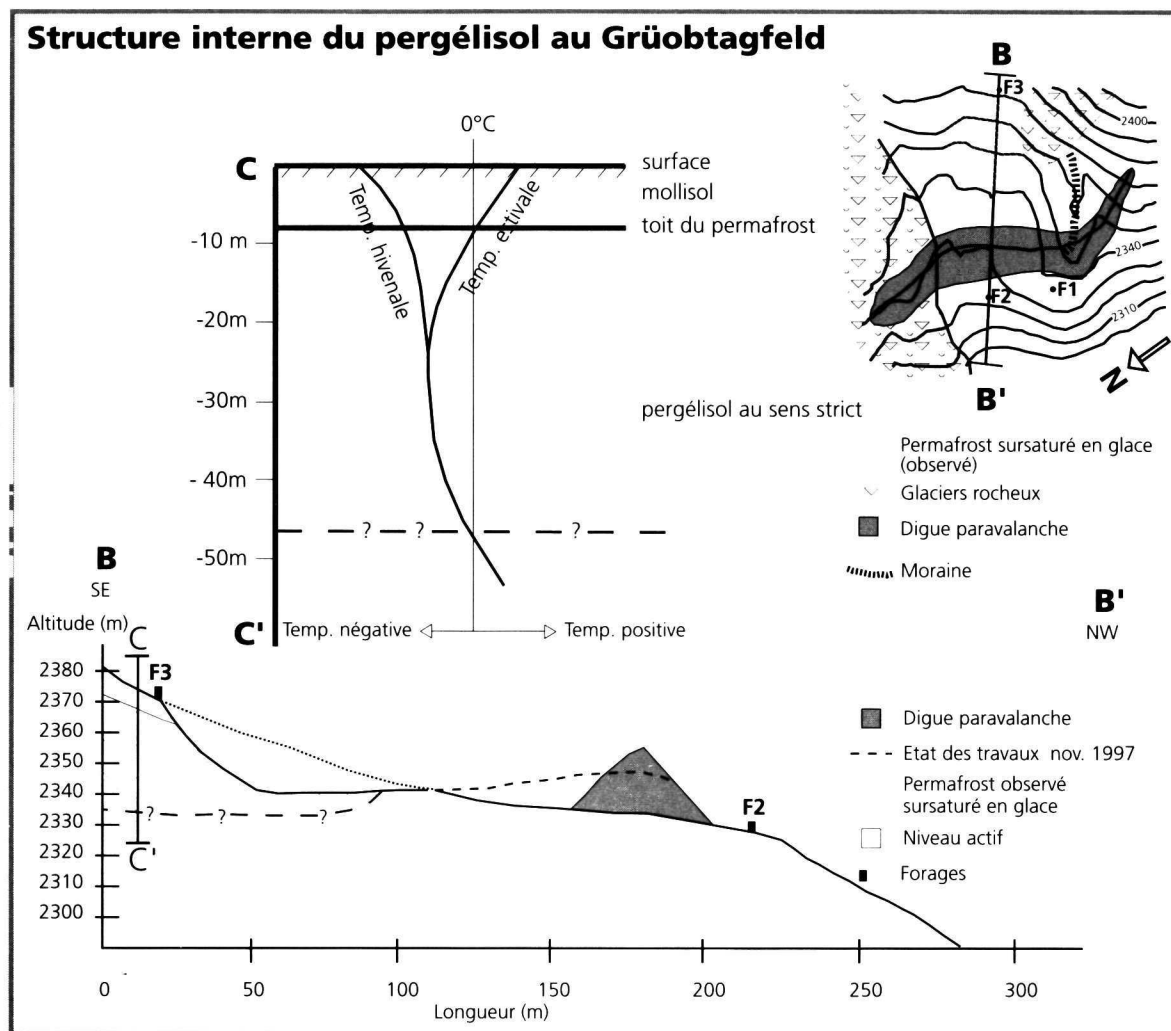


Figure 4 – Coupes verticale et longitudinale dans le Gröbtagfeld. – DESSIN ALAIN BROCCARD

### Le toit du pergélisol

Dès 7 à 8 m de profondeur, un niveau riche en glace est apparu. Cette couche était si compacte et solide, qu'il n'a pas été possible d'en extraire un échantillon afin d'analyser la quantité de glace. Une estimation a néanmoins été réalisée et montre que la glace semblait occuper un pourcentage supérieur à 50% du volume total.

### Le pergélisol au sens strict

Dès 8 m de profondeur de nombreuses lentilles de glace ont été observées dans le niveau qui reste continuellement à une température inférieure à 0°C. Ces petites lentilles pouvaient atteindre une vingtaine de centimètres d'épaisseur. De couleur blanchâtre, ces accumulations de glace riche en bulles d'air, formaient un pergélisol sursaturé en glace.

A 70 m en amont de la digue (distance horizontale) et à environ 50 m de profondeur (observation de terrain), une épaisse couche d'argile (environ 30 cm) limitait vers le bas la répartition de sédiments englacés. En effet, au-dessus de cette couche imperméable, des lentilles de glace en fusion ont été aperçues, alors qu'au-dessous on observait des sables complètement secs. La présence de ce niveau parfaitement imperméable empêche aux eaux d'infiltration de progresser vers le bas, et ainsi de former des accumulations de glace.

## PERGÉLISOL ET RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Dans les deux coupes que nous venons de décrire, le toit du pergélisol est situé à une profondeur qu'on estime entre 7 et 8 m de profondeur.

En parcourant la littérature concernant le pergélisol, dans la majorité des cas, on constate qu'un pergé-

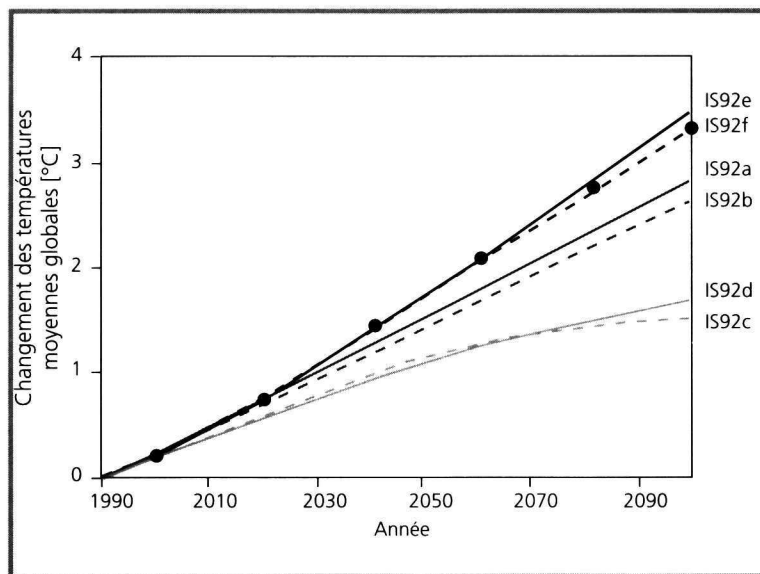


lisol actif est présenté comme du matériel de subsurface dont le niveau actif ne dépasserait pas 2 à 3 m d'épaisseur dans les Alpes.

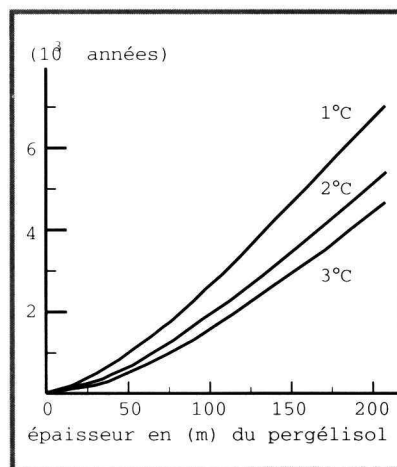
Par exemple, lors des forages dans le glacier rocheux de Gruben (Valais), BARSCH *et al.* (1979) rencontre à 2 m de profondeur une quantité de glace par rapport au volume total de plus de 80%, ce qui trahit un niveau actif très mince. Le forage mené sur le glacier rocheux de Murtel-Corvatsch démontre une épais-

ner un ordre de grandeur général valable pour nos contrées très hétérogènes semble être très difficile. Selon HAEBERLI (1990) les mesures de température (forages), même si elles ne sont pas nombreuses, dans le pergélisol des montagnes de basses latitudes montrent un réchauffement évident.

Dans le contexte actuel du réchauffement climatique, l'exemple du pergélisol dans le Gröbttälli est intéressant. Constituant la limite inférieure du pergélisol



**Figure 5 – Augmentation des températures moyennes globales à la surface de la terre selon différents scénarios.** (IPCC 1992).



**Figure 6 – Temps requis pour la fusion complète d'un pergélisol en fonction de son épaisseur et du réchauffement par rapport aux températures actuelles.** (Tiré de HAEBERLI 1985).

seur du niveau actif d'environ 3 m HAEBERLI *et al.* (1988). Pour KELLER (1994), aussi longtemps que la moyenne des températures du sol est en dessous de 0°C, les conditions sont remplies pour trouver un pergélisol actif, dont l'épaisseur du niveau actif est selon lui inférieure à 6 m.

Dès lors, face à ces constatations, l'épaisseur du niveau actif observé dans le Gröbttälli, à une altitude moyenne d'environ 2350 m, trahit probablement un pergélisol en voie de disparition plus ou moins avancée.

Lors d'un réchauffement atmosphérique, la quantité annuelle d'énergie entrant dans le sol étant supérieure à la quantité le quittant, le pergélisol se dégrade, et un pergélisol inactif se développe. Le gel hivernal n'atteignant plus le toit du pergélisol, ce dernier s'amincit.

Mais dès lors, quels sont les effets de l'augmentation moyenne des températures (environ 0.5°C) constatée depuis 1850 sur l'épaisseur du pergélisol du Gröbttägfeld?

OSTERKAMP (1983) dans les différents travaux qu'il a mené en Alaska sur les effets du réchauffement climatique estime la vitesse de fusion du pergélisol à 1cm/année (environ 1.50 m depuis 1850). Mais don-

dans ce vallon, cette zone tampon très sensible aux changements de température enregistre directement les effets du réchauffement atmosphérique. Si une telle tendance se poursuivait, ce qui semble être confirmé par les modèles mis en place par le GIEC: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC 1992), le pergélisol discontinu alpin risquerait de se rétrécir telle une peau de chagrin.

Combien de temps serait nécessaire pour que le pergélisol du Gröbttägfeld, dans de telles conditions, disparaisse complètement? W.D. HARRISON (*in* HAEBERLI 1985) propose une formule qui permet d'estimer la vitesse de fusion du pergélisol en tenant compte de son épaisseur et du réchauffement atmosphérique futur (1, 2, ou 3°C). Les résultats sont illustrés dans le graphique 6.

Dans le cas du pergélisol discontinu du Gröbttägfeld, dont l'épaisseur est d'environ 50 m, on constate que plusieurs siècles seraient nécessaires pour dégeler ce que certains désignent comme le ciment des Alpes.

## CONCLUSION

Les observations entreprises le long de ces deux coupes ont permis d'illustrer la structure même de la



glace présente dans ces matériaux de subsurface qui se développent soit sous forme interstitielle soit en lentilles.

La faible proportion de glace et les températures positives dans les 7 à 8 premiers mètres du sol ont mis en évidence un pergélisol en voie de décrépitude, qui n'est plus en équilibre avec les conditions atmosphériques actuelles. La moyenne annuelle estimée de la température de l'air de la zone d'étude est probablement supérieure à  $-0.5^{\circ}\text{C}$  (cf. zone d'étude), ce qui la place en dessous de l'isotherme du  $-2^{\circ}\text{C}$ , qui délimite, vers le bas, l'extension du pergélisol. Les sédiments gelés du Grübottagfeld sont donc les vestiges de périodes passées plus froides.

A long terme, si le réchauffement qui s'est amorcé depuis environ un siècle se maintenait ou s'accroissait, la zone d'extension du pergélisol alpin discontinu diminuerait d'une manière importante. Privé de pergélisol, véritable ciment, qui garantit la cohésion des différents matériaux des versants à pente forte, de nombreux mouvements pourraient se généraliser dans les Alpes, dont actuellement déjà on décèle les prémisses, par exemple les coulées torrentielles au Ritigraben, (Grächen et St-Nicolas, VS).

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout particulièrement Marcia Phillips et Emmanuel Reynard et Pierre Kunz pour leurs précieux et judicieux conseils concernant l'élaboration de cette note, et Nadine Mounir pour la traduction du résumé. Je tiens à remercier les ouvriers de l'entreprise de génie civil Atra - P. Délétroz, A. Roussot et R. Marcoz pour leur gentillesse et leur grande disponibilité durant ma campagne de terrain.

## BIBLIOGRAPHIE

- BARSCH, D. 1977. Ein Permafrostprofil aus Graubünden, Schweizer Alpen. *Zeitschrift für Geomorphologie*, NF 21, pp. 79-86.  
 – 1996. *Rockglaciers. Indicators for the present and former geoecology in high mountain environments*. Berlin/Heidelberg, Springer-Verlag.
- BARSCH, D., H. FIERZ & W. HAEBERLI. 1979. Shallow core drilling and bore-hole measurements in permafrost of an active rock glacier near the Grubengletscher, Wallis, Swiss Alps. *Arctic and Alpine Research* 11, pp. 215-28.
- BROCCARD, A. 1998. *Géomorphologie du Turtmanntal, Valais, Suisse*. Travail de mémoire non publié, IGUL, Univ. de Lausanne, 145 p.
- CAILLEUX, A. & J. TRICART. 1967. *Initiation à l'étude des sables et des galets*. Centre de la documentation universitaire, 2 tomes, Paris.
- ENA 1996. *Lawinenauffangdamm Gruben/VS*. Technische Beratung N° 158, Kreisforstamt IV, Davos, document non publié, 15 p.
- HAEBERLI, W. 1985. Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers. *Mitteilungen der Vaw- Eth Zürich*, N° 77, 139 p.  
 – 1990. Glacier and permafrost signals of 20th-century warming. *Annals of Glaciology* 14, pp. 99-101.

- HAEBERLI, W., J. HUDER, H. KEUSEN, J. PIKA & H. ROTHISBERGER. 1988. Core drilling through rock glacier permafrost. *Proc 5th Int Conf Permafrost in Trondheim, Norway*, pp. 937-942.
- IPCC 1992. *Climate change. The supplementary report to the IPCC Scientific Assessment*, Cambridge, C.U. Press (Houghton J.T., Callender B.A. & Varney S.K.). Intergovernmental Panel on Climate Change.
- KELLER, F. 1994. Interaktionen zwischen Schnee und Permafrost. Eine Grundlagenstudie im Oberengadin. *Mitteilungen der VAW-ETH Zürich*, Nr 127, 144 p.
- OSTERCAMP, T.E. 1983. Thermal models for estimating the potential impact of a warmer climate on permafrost in Alaska. *Interim rep to the Alaska Council Sci. Technol. for grant W-81-03, UAG R-295*, 29 pp.
- PHILLIPS, M. & E. REYNARD. 1997. Répartition du Permafrost dans les Hautes Alpes calcaires. *Arbeitsheft Vaw Eth Zürich*, Nr 19.
- REYNARD, E. 1998. *Gestion patrimoniale et intégrée des ressources en eau dans les stations touristiques de montagne*. Thèse Université de Lausanne (sous presse).
- VAW 1995. *Permafrost in Lawinenanrisszonen*. Bericht über BTS-Messungen zur Kartierung von Permafrost in Lawinenanrisszonen, Standort Gruben N° 500.7, Zürich.
- VAN TATENHOVE, F. & F. DIKAU. 1990. Past and Present Permafrost Distribution in the Turtmanntal, Wallis, Swiss Alps. *Arctic and Alpine Research*, Vol 22, N° 3, pp. 302-316.
- VONDER MUHLL, D. 1996. Drilling in Alpine Permafrost. *Norsk geogr. Tidsskr.* Vol 50, Oslo, pp. 17-24.
- WASCHBURN, A.L. 1979. *Geocryology. A survey of periglacial processes and environments*, London, Arnold.